

MINIATURE FIBER-OPTIC TEMPERATURE SENSOR BASED ON FP INTERFEROMETER

Miroslav Stibůrek

Master Degree Programme (2.), FEEC BUT

E-mail: xstibu01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Vratislav Harabiš

E-mail: harabis@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper deals with design, manufacturing and measurement of fiber-optic temperature sensor based on Fabry Perot interferometer. Benefits and problems regarding fiber-optic sensors are discussed. There is brief description of method used for temperature sensor interrogation. The main part of the sensor contains miniature capillary made from borosilicate glass. Sample of fabricated sensor is calibrated using reference temperature measurement and tested.

Keywords: optical fiber, temperature sensor, Fabry Perot interferometer

1 ÚVOD

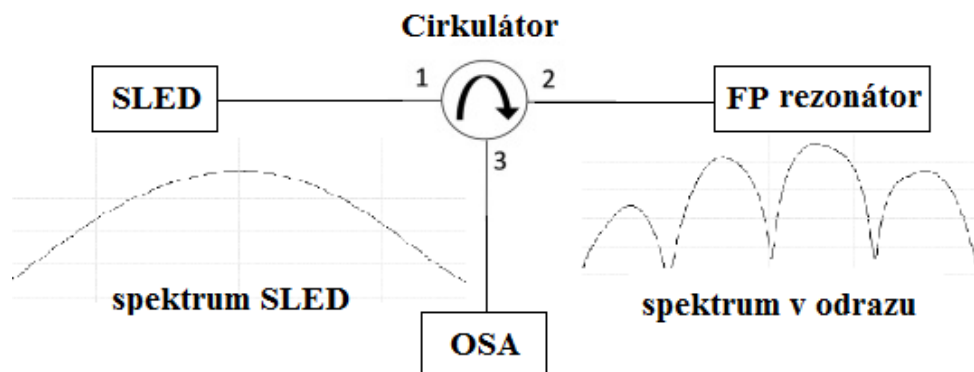
Sledování fyzikálních veličin s využitím optovláknových senzorů nachází uplatnění v širokém spektru průmyslových aplikací. V posledních několika letech pronikají také do oblasti přírodních věd a především medicíny. Mezi hlavní výhody optovláknových senzorů v porovnání s konvenčně používanými senzory patří velmi malé rozměry a hmotnost, rychlá odezva, vysoká přesnost a odolnost vůči působení vnějšího elektrického a magnetického pole. Tyto vlastnosti je předurčují k využití měření fyzikálních veličin v prostředí magnetické rezonance nebo ionizujícího záření. Hlavní nevýhodou optických senzorů je vysoká pořizovací cena oproti konvenčnímu řešení a to především kvůli pořizovací ceně světelných zdrojů, optických komponent a detektorů, případně dalších optických a optoelektronických prvků použitých pro zpracování a detekci optického signálu. [1]

Měření tělesné teploty patří mezi základní vyšetřovací metody v lékařství. Dalšími důvody pro měření teploty mohou být sledování fyziologických reakcí, hypertermií nebo laboratorních experimentů obecně. [2] Kromě běžně užívaných teploměrů jako jsou kapalinové, digitální, infračervené nebo odporové se s ohledem na zmiňované výhody naskytá možnost využít ve zdravotnictví právě senzory optovláknové. Tento článek představuje metodu měření teploty s využitím Fabry Perotova rezonátoru. Na tomto principu vyhodnocení je navržen a vytvořen miniaturní optovláknový senzor, který je kalibrován a dále testován.

2 METODA MĚŘENÍ

Metoda měření teploty pomocí Fabry Perotova rezonátoru využívá vyhodnocení odraženého spektra optického signálu z optické dutiny FP rezonátoru. Tento rezonátor je tvořen dvěma polopropustnými zrcadly. Spektrum optického signálu je modulováno na základě konstruktivní nebo destruktivní interference světla na první odrazné ploše. Procházející světlo vstupuje do optického rezonátoru s určitou fází, po průchodu rezonátorem se fáze signálu mění v závislosti na délce, kterou světlo urazilo. Po tomto průchodu rezonátorem nastává interference obou vln. Pokud je do FP rezonátoru přiveden širokopásmový optický signál, můžeme pro různé vlnové délky pozorovat různou míru destruktivní, resp. konstruktivní interference, což se projeví modulací optického spektra signálu. Tento optický signál je samozřejmě modulován jak pro průchod, tak i pro odraz, protože v samotném rezonátoru dochází k vícenásobným odrazům. Základní schéma zapojení zahrnující i spektrální charakteristiky je na obrázku 1.

Světelný signál ze superluminiscenční diody (SLED) je přes první port cirkulátoru přiveden do FP rezonátoru. Odražený signál z optické dutiny je stejnou trasou veden zpět přes třetí port cirkulátoru do optického spektrálního analyzátoru (OSA).



Obrázek 1: Schéma zapojení pro vyhodnocení délky FP rezonátoru [3]

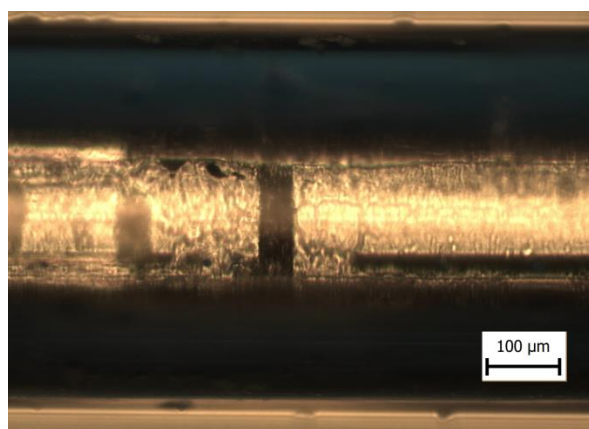
Modulace signálu je způsobena interferencí paprsků odražených od obou zrcadel dutiny FP rezonátoru. Vzdálenost zrcadel určuje délku rezonátoru. Pozice minim ve spektru odraženého signálu souvisí s délkou rezonátoru a lze ji vypočítat pomocí zjednodušeného vztahu uvedeného v rovnici 1. Vlivem tepla, ať už jeho odebráním nebo naopak dodáním, dochází prostřednictvím teplotní roztažnosti ke změně délky FP rezonátoru. Se změnou délky FP rezonátoru se mění pozice minim ve spektru odraženého signálu, které jsou detekovány. Pomocí nich je určena délka rezonátoru, která je s využitím kalibrační křivky převedena na měřenou teplotu. [4]

$$L = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)} \quad (1)$$

Kde L je délka rezonátoru a λ_1, λ_2 jsou pozice minim ve spektru signálu z optické dutiny FP rezonátoru.

3 NÁVRH A VÝROBA SENZORU

Optovláknový senzor popsaný v článku byl vytvořen a testován v prostorách firmy NETWORKGROUP s.r.o. Optická dutina rezonátoru je tvořena jednovidovými optickými vlákny sesazenými a zalepenými opticky čirým lepidlem v kapiláře z borosilikátového skla o vnitřním průměru 126 μm a vnějším průměru 500 μm . Mikroskopický snímek optické dutiny FP rezonátoru se sesazenými vlákny můžeme vidět na obrázku 2.



Obrázek 2: Mikroskopický snímek dutiny FP rezonátoru

Délka snímací části senzoru je 5 mm. Na čela vláken je za účelem vyšší odrazivosti zrcadel nanesena tenká vrstva hliníku. Odrazivost použitých zrcadel je tak přibližně 80 %. Konec kapiláry je z důvodu zamezení vstupu vlhkosti do optické dutiny FP rezonátoru zkolabován plazmatickým výbojem. To lze pozorovat v podobě zaoblení konce senzoru na obrázku 3.

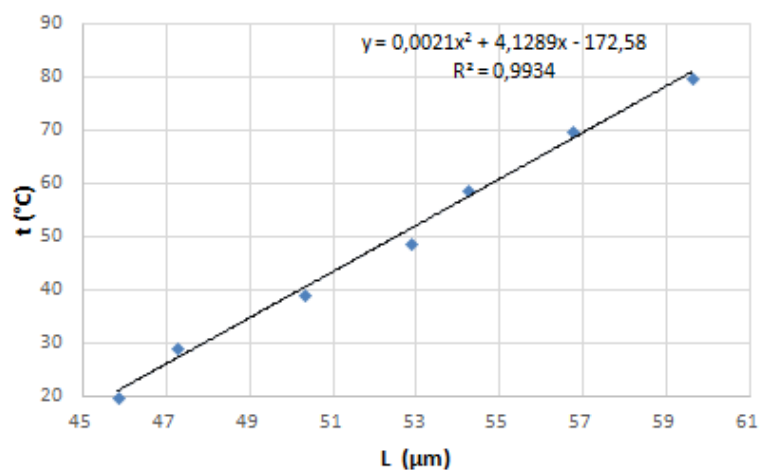


Obrázek 3: Optovláknový senzor teploty bez pouzdrění

Při výrobě senzoru byl s ohledem na možnost využití ve zdravotnictví nebo přírodních vědách kladen důraz na dosažení pokud možno co nejmenších rozměrů samotného senzoru.

4 TESTOVÁNÍ VYTVOŘENÉHO SENZORU

Pro vyrobený senzor zapouzdřený v provizorním polyethylenovém obalu byla následně s využitím kalibrovaného teplotního čidla Pt 1000 a vodních lázní vytvořena kalibrační křivka. Kalibrace proběhla v rozsahu teplot od 20 do 80 °C s krokem 10 °C, což by mělo být vzhledem ke stupni polynomu kalibrační křivky a tělesné teplotě člověka, jejím možným výkyvům a dále hodnotám teplot odpovídajícím denaturaci bílkovin více než dostačující. [5] Kalibrační křivku jako závislost teploty na délce FP rezonátoru můžeme vidět na obrázku 3.



Obrázek 4: Kalibrační křivka teplotního senzoru

Mimo body kalibrační křivky bylo následně změřeno několik hodnot, z nichž byla spočítána relativní odchylka měření.

5 ZÁVĚR

V článku jsou popsány návrh, výroba a metoda měření miniaturního optovláknového senzoru teploty. Hlavní část senzoru je tvořena válcovitou skleněnou kapilárou o průměru 0,5 mm a délce 5 mm, která představuje optickou dutinu FP rezonátoru. Při testování senzoru byla naměřena jeho citlivost

přibližně 4nm/μm délky rezonátoru a relativní chybou senzoru 0,75 %. Vzhledem k relativní chybě měření optovláknového senzoru v kombinaci s jeho rychlou odezvou, velikostí a materiálem jednotlivých komponent se nabízí možnost jeho využití v prostředích a zařízeních se specifickými vlastnostmi a podmínkami pro práci, které jsou spojeny se zdravotnictvím nebo přírodními vědami obecně (např. magnetická rezonance).

REFERENCE

- [1] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Druhé, rozšířené vydání. Brno: Prof. Ing. Miloslav Filka, Csc. a kol., 2017. ISBN 978-80-86785-29-5.
- [2] ŠEVČÍK, Pavel a Martin MATĚJOVIČ, ed. *Intenzivní medicína*. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Galén, c2014. ISBN 978-80-7492-066-0.
- [3] LINGHAO, Cheng, Wang CENGZHONG, Huang YUNYUN, Hao LIANG a Guan BAI-OU. Silk fibroin diaphragm-based fiber-tip Fabry-Perot pressure sensor. *OSA Publishing* [online]. 2016 [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://www.osapublishing.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-24-17-19600&id=348841>
- [4] DEXTROEDER, Wolfgang. *Laser spectroscopy 1: basic principles*. 5th edition. New York: Springer, 2014. ISBN 978-3-642-53858-2.
- [5] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.